

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen:

198 55 983.6

Anmeldetag:

04. Dezember 1998

Anmelder/Inhaber:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung eV, München/DE

Bezeichnung:

Gerät und Verfahren zur polarisationsabhängigen
optischen Vermessung feinstrukturierter Oberflächen

IPC:

G 01 B, G 01 N, H 01 L

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 21. Juni 2001
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident

Im Auftrag

Faust

A 9161
06/00
EDV-L



CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

Gerät und Verfahren zur polarisationsabhängigen optischen Vermessung feinstrukturierter Oberflächen

Anwendungsgebiet: Speziell bei der Halbleiterfertigung müssen während des Fertigungsprozesses häufig Linienbreiten und -profile von strukturierten Schichten kontrolliert werden. Für die Funktionsfähigkeit des Produkts ist die exakte Einhaltung der Spezifikationen für die Linienbreite von ausschlaggebender Bedeutung. Daneben sind noch weitere Strukturparameter wie z. B. Grabentiefe oder Seitenschräge von großer Wichtigkeit. Zur Kontrolle dieser Fertigungsparameter auf Lithographiemasken, Halbleiterscheiben oder anderen feinstrukturierten Oberflächen sind geeignete Meßgeräte erforderlich.

Stand der Technik: Bei den heute verwendeten kleinsten Strukturbreiten im Bereich von 0,25 µm sind konventionelle, zerstörungsfreie optische Linienbreitenmeßgeräte aufgrund von Beugungs- und Interferenzeffekten nicht mehr einsetzbar. Für die Linienbreitenmessung feiner Strukturen (< 1 µm) werden zur Zeit Elektronenmikroskope eingesetzt, die eine aufwendige Handhabung erfordern und einen niedrigen Durchsatz besitzen, so daß nur ein geringer Anteil der prozessierten Halbleiterscheiben überprüft werden kann. Darüber hinaus erhält man exakte Meßergebnisse für die Linienprofile nur mit sogenannten cross-section-Aufnahmen, für die eine bereits prozessierte Halbleiterscheibe zerstört werden muß. Neben den regulären Produktscheiben werden daher bei der Halbleiterfertigung sogenannte Monitorscheibe mitprozessiert, die anschließend für Meßzwecke verwendet werden. Vor allem bei den künftigen großen Scheibendurchmessern von 300 mm und darüber verursachen diese Monitorscheiben hohe Kosten, zum einen aufgrund des reinen Materialwertes, zum anderen, weil durch sie der Durchsatz an Produktscheiben deutlich reduziert wird. Um mit möglichst wenigen Monitorscheiben auszukommen, benötigt man bei der Halbleiterfertigung daher kostengünstige Meßverfahren zur zerstörungs- und kontaminationsfreien Überprüfung von Linienstrukturen auf Produktscheiben. Die Meßgeschwindigkeit sollte dabei so hoch sein, daß z.B. nach einem kritischen Prozeßschritt jede Produktscheibe ohne signifikante Erhöhung der Prozeßzeit kontrolliert werden kann. Einen Lösungsansatz bietet die Streulichtmessung. Im allgemeinen wird bei diesem Verfahren der zu untersuchende Meßbereich beleuchtet und aus den Merkmalen des reflektierten Lichts auf die Oberflächeneigenschaften des Meßbereichs geschlossen. Befinden sich auf dem Substrat periodische Strukturen, so treten bei entsprechender Wahl der Lichtwellenlänge Beugungs- und Interferenzeffekte auf, die bei konventionellen optischen Geräten eine Messung verhindern, bei der Streulichtmessung jedoch explizit erfaßt und ausgewertet werden, da sie für die Strukturgrößen charakteristisch sind. Mit Hilfe aufwendiger Modellrechnungen ist es bereits möglich, verschiedene Strukturgrößen wie Linienbreite, Kantenschräge oder Linienhöhe durch Streulichtmessung zu bestimmen. Allerdings beruhen die entsprechenden Meßkonzepte auf einer Messung der Beugungsordnungen in Abhängigkeit des Lichteinfallswinkels bezüglich der Probenoberfläche und erfordern somit neben der Modellbildung eine konstruktiv aufwendige und teuere Meßanordnung mit vielen beweglichen Komponenten [z. B.: S.A. Coulombe, B.K. Minhas, C.J. Raymond, S.S.H. Naqvi, J.R. McNeil: „Scatterometry measurement of sub-0.1 µm linewidth gratings“, *J. Vac. Sci. Technol. B* 15(2), 1997, 361 - 368].

Gelöste Aufgabe: Das hier beschriebene Gerät und Verfahren zur polarisationsabhängigen Vermessung feiner Strukturen beinhaltet eine vereinfachte Meßanordnung, die die Gerätekosten erheblich senkt, den Einsatz als *in situ*- bzw. in-line-Gerät ermöglicht und die Messung sowie die Meßdatenauswertung erheblich beschleunigt.

Verbesserungen: Während in der bekannten Streulichtmessung bei konstanter Polarisation der Lichtquelle der Einfalls- oder der gemessene Ausfallswinkel mit aufwendigen Meßanordnungen variiert werden,

- wird hier erstmals die kontinuierliche Drehung der linearen Polarisation vorgeschlagen, um die Meßanordnung erheblich zu vereinfachen und den Meßvorgang zu beschleunigen.

Als Meßergebnis erhält man Intensitätsverläufe der Beugeordnungen (im einfachsten Fall nur der 0-ter Beugeordnung) in Abhängigkeit des Polarisationswinkels zwischen 0° und 90°. Da die Richtung der Periodizität angebende Gittervektor darf dazu nicht in der Einfallsebene des Lichtsstrahls liegen, damit konische Beugung auftritt [Moharam 1983]. Des weiteren

- wird hier erstmals vorgeschlagen, die Intensitäten der ersten Beugeordnung zur Überprüfung der exakten Ausrichtung der Probenplatte einzusetzen.

Nur bei einem bestimmten Rotationswinkel der Scheibe auf dem Meßplatz besitzen die beiden Beugungsmaxima erster Ordnung bei konischer Beugung gleiche Intensität. Somit erhält man eine einfache Möglichkeit, den Rotationswinkel, der die Intensitätsverläufe beeinflußt, exakt zu justieren. Die Intensitätsverläufe können konventionell mit Hilfe eines Modells zur Bestimmung absoluter Gittergrößen durch Parameterregression genutzt werden. Alternativ

- wird hier erstmals vorgeschlagen, die Intensitätskurven mit den Intensitätsverteilungen zu vergleichen, die zuvor mit spezifizierten, optimalen Gitterstrukturen aufgenommen wurden und durch ein geeignetes Abstandsmaß zu entscheiden, ob die konkret untersuchte Struktur die geforderten Spezifikationen einhält.

Für diese Klassifikation (z.B. Struktur in Ordnung / Prozeß fehlerhaft) ist keine aufwendige Modellbildung oder die Bestimmung absoluter Gittergrößen erforderlich. Stattdessen werden die Intensitätskurven von Proben, die die Spezifikationen erfüllen mit Hilfe eines lernfähigen Systems gespeichert und ein Vergleich mit der aktuellen Meßkurve durchgeführt. Das beschriebene Verfahren eignet sich speziell für die kontinuierliche Kontrolle von regulären Strukturen, z. B. von Speicherelementen, die zum größten Teil symmetrische Gitterstrukturen aufweisen. Während die bisherigen Verfahren mit numerischen Simulationen hauptsächlich für einfache Teststrukturen geeignet sind, ist das hier vorgeschlagene Konzept direkt auch für komplexe Produktstrukturen anwendbar. Beim Hochfahren der Fertigungsline fallen genügend Meßdaten aus REM-Untersuchungen für ein Training eines lernfähigen klassifizierenden Systems (z. B. eines neuronalen Netzes oder einer Fuzzy-Logik) an.

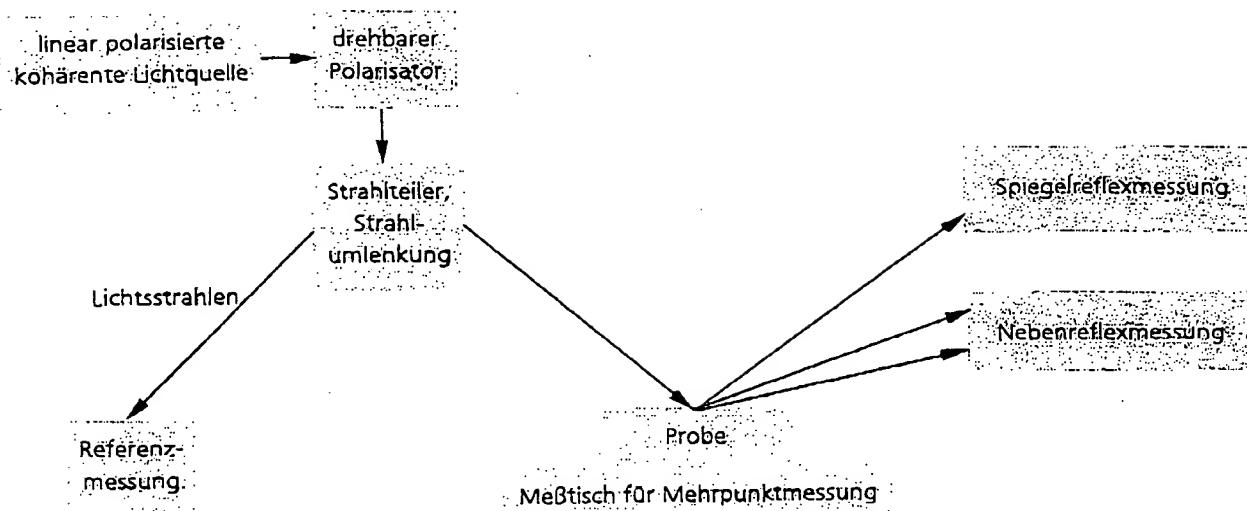
Lösungsweg:

Abb. 1: Grundlegender Aufbau des neuen Meßsystems

Die Reflexion kohärenten Lichts an periodischen Strukturen, die als Amplituden oder Phasengitter aufgefaßt werden können, bewirkt die Bildung von Beugungs- und Interferenzeffekten. Ist die Wellenlänge des verwendeten Lichts zumindest größer als die halbe Gitterperiode, so entstehen neben dem direkt reflektierten Strahl 0-ter Ordnung noch weitere Beugungsmaxima höherer Ordnung. Die Lage bzw. der Winkel θ_n der n -ten Beugungsordnung hängt nur vom Einstrahlwinkel θ_i , von der Gitterperiode g sowie von der Wellenlänge ab:

$$\sin \theta_i + \sin \theta_n = n \frac{\lambda}{g}$$

Im Fall von zweidimensionalen Gittern und komplizierten Strukturen mit mehreren verschiedenen Perioden muß das Beugungsproblem dreidimensional analysiert werden. Liegt die Größe der untersuchten Strukturen im Bereich der Wellenlänge, so gelten die einfachen Fraunhofer Beugungsgleichungen nicht mehr. Stattdessen müssen die Maxwellgleichungen für die Reflexion und Transmission an Gittern explizit gelöst werden, z.B. mit Hilfe der sogenannten *rigorous coupled wave analysis* [z. B.: M.G. Moharam, T.K. Gaylord: „Three-dimensional vector coupled-wave analysis of planar-grating diffraction“, *J. Opt. Soc. Am.*, Vol. 73, No. 9, 1983, 1105 - 1112]. Die auftretenden Nichtlinearitäten lassen allgemein gültige Aussagen nur noch sehr begrenzt zu, weshalb für die Beurteilung von Beugungseffekten an kleinen Strukturen stets der konkrete Einzelfall betrachtet bzw. numerisch berechnet werden muß. Die Intensitäten sowie die Phasen der Beugungsordnungen hängen dabei von den Eigenschaften des einfallenden Strahls (Winkel, Polarisation, Wellenlänge), von der untersuchten Gitterstruktur (Gitterperioden, Linienbreite, Linienhöhe, Schichtaufbau, Kantenrundungen, Rauigkeit) und von den Materialeigenschaften des Substrats (Brechungsindex, Absorptionsindex) ab. Die Lage der Beugemaxima wird jedoch nur vom Einfallswinkel, von der Gitterperiode und von der Wellenlänge beeinflußt. Sind diese Größen konstant, so kann aus der Intensitätsauswertung der

örtlich festen Beugeordnungen auf die übrigen Gitterparameter geschlossen werden. Wegen der vielen Gitter-Einflußgrößen ist eine eindeutige Bestimmung der Gitterparameter jedoch nur möglich, falls eine genügende Anzahl von Intensitätsmeßwerten für den untersuchten Meßpunkt zur Verfügung steht.

Im folgenden wird der vorgeschlagene Meßaufbau in Abb. 1 beschrieben: Eine Lichtquelle liefert kohärentes, linear polarisiertes Licht einer Wellenlänge. Alternativ kann unpolarisiertes Licht durch entsprechende Polarisatoren linear polarisiert werden. Zudem können mehrere Strahlen verschiedener Wellenlänge zu einem Strahl zusammengeführt werden, um eine größere Anzahl an Beugemaxima zu erhalten. Das kohärente Licht kann auch aus einer spektralen Lichtquelle stammen (z. B. einer Xenon-Lampe), wobei mit Hilfe eines Filters verschiedene Wellenlängenbereiche extrahiert werden. Die im weiteren beschriebene Auswertung der von der Oberfläche reflektierten Lichtintensität kann damit zudem in Abhängigkeit der Wellenlänge durchgeführt werden. Mit Hilfe des zusätzlichen Parameters kann die Meßgenauigkeit und die Empfindlichkeit des Verfahrens erhöht werden.

Durch ein geeignetes optisches Element (z. B. eine $\lambda/2$ -Platte) wird der Polarisationswinkel während der Messung stufenlos oder in kleinen Stufen (motorisch) geändert. Alternativ kann auch ein elektrooptisches Element zur Polarisationsdrehung eingesetzt werden oder die linear polarisierte Lichtquelle (der Laser) wird selbst gedreht. Die Strahlführung erfolgt mit Hilfe von Linsen, Spiegeln und Prismen, wobei deren genaue Anordnung nichts am zugrunde liegenden Meßprinzip ändert. Allerdings müssen die Einflüsse der optischen Elemente auf den Polarisationswinkel des einfallenden Lichtstrahls berücksichtigt werden. Die Spiegel, Prismen oder Scheiben können in beliebiger Reihenfolge zwischen Lichtquelle, $\lambda/2$ -Platte und der zu untersuchenden Probe angebracht sein. Entscheidend ist, dass ein linear polarisierter Lichtstrahl auf die Probenoberfläche trifft, dessen Polarisationswinkel zwischen 0° und 90° variiert wird. Alternativ kann auch ein anderer Winkelbereich zwischen 0° und 360° gewählt werden. Allerdings ergeben Winkel über 90° keine grundsätzlich neue Information, sondern stellen eine Wiederholung der Messung zwischen 0° und 90° dar. Das Meßverfahren kann auch mit elliptisch polarisiertem Licht durchgeführt werden. Wie im linearen Fall wird mit einer $\lambda/2$ -Platte der Azimutwinkel (Polarisationswinkel) vorgegeben, der die Hauptachse des elliptisch polarisierten Lichts bestimmt. Wiederum mit Hilfe eines geeigneten optischen Elements (z. B. eine $\lambda/4$ -Platte) entsteht aus linear polarisiertem Licht die jeweils geforderte elliptische Polarisierung. Um das Rauschen der Lichtquelle zu berücksichtigen wird z. B. mit einer Photodiode die Intensität eines mit einem Strahlteiler (z. B. Prisma oder Strahlplatte) ausgeteilten Referenzstrahls gemessen. Mit Hilfe einer verstellbaren, während der Messung realisierten Strahlumlenkung wird ein für die jeweilige Probe geeigneter Einfallsinkel realisiert (s. o. zu Strahlführung). Dieser konstante Einfallsinkel des Lichtstrahls auf die Probe stellt einen wichtigen Unterschied zu bisher vorgestellten ähnlichen Meßgeräten dar und vereinfacht den Meßaufbau erheblich.

Bei einem Durchmesser von ca. 0,5 mm trifft der Lichtstrahl i.a. auf mehrere tausend Einzelstrukturen, so daß das Meßergebnis einen Mittelwert der betreffenden Gitterparameter darstellt. Falls gewünscht, kann der Lichtstrahl mit Hilfe einer Optik aufgeweitet werden, um die Zahl der gleichzeitig betrachteten Einzelstrukturen zu erhöhen. Dabei dürfen auch

nichtperiodische Strukturen erfaßt werden. Im Fall größtenteils nichtperiodischer Strukturen erhält man mit dem Meßverfahren eine Aussage über die Rauigkeit bzw. die mittlere Oberflächenbeschaffenheit der Probe. Der Lichtstrahl kann auch fokussiert werden, um nur wenige Einzelstrukturen zu bedecken, falls der Bereich periodischer Strukturen klein ist oder weil die Eigenschaften speziell dieser Einzelstrukturen interessieren. Mit Hilfe eines Verfahrens können verschiedene Meßpunkte auf einer größeren Probenoberfläche angefahren werden (mapping).

Die Gittergrößen bestimmen die vom Reflexionspunkt ausgehende Lichtverteilung. Im einfachsten Fall wird mit einer Photodiode nur die Intensität des direkt reflektierten Strahls in Abhängigkeit vom Polarisationswinkel gemessen. Als Variation kann der reflektierte Strahl wiederum durch einen veränderbaren Polarisator (Analysator) bei bestimmten Polarisationswinkeln untersucht werden. Wie beim einfallenden Lichtstrahl können Spiegel und Prismen zur Strahlführung und Strahlumlenkung eingesetzt werden ohne das Meßprinzip zu beeinflussen. Falls höhere Beugungsordnungen auftreten, können sie ebenfalls mit justierbaren Photodioden gemessen werden. Man erhält pro Meßpunkt einen oder mehrere Kurvenverläufe, die zur Klassifizierung oder auch zur absoluten Bestimmung eines Gitterparameters herangezogen werden. Gitterparameter sind dabei Gitterperioden, Linienbreiten, Grabentiefen, Schichtdicken (auch transparente Mehrschichtsysteme), Seitenwandschrägen, Kantenrundungen und Oberflächenrauhigkeiten. Die Probenoberfläche kann von Metallen (z. B. Aluminium), Halbleitern (Poly-Silizium) oder Nichtmetallen (z. B. Lacken) bedeckt sein. Der Anwendungsbereich des Meßprinzips bzw. die mögliche Größe der feinen Oberflächenstrukturen hängt von der Wellenlänge der verwendeten elektromagnetischen Strahlung ab: Die Strukturgrößen sollten in der Größenordnung mit der Wellenlänge übereinstimmen.

Zur Beurteilung der strukturierten Probenoberfläche werden die Intensitätsverläufe mit Kurvenverläufen spezifizierter Proben verglichen. Mit Hilfe eines lernfähigen Systems, z. B. eines neuronalen Netzes, wird eine Einteilung oder Klassifizierung der betreffenden Probenoberfläche vorgenommen (z. B. gut/schlecht). Das neuronale Netz (als black-box) wurde dazu mit einer ausreichenden Anzahl von Beispielstrukturen trainiert. Der große Vorteil dieses Verfahrens liegt in seiner Einfachheit: Es ist kein hochqualifizierter Fachmann erforderlich, dessen Aufgabe darin besteht, die Probenoberfläche so genau wie möglich zu modellieren und die Streulicht- und Beugungseffekte vorherzusagen, um einen absoluten Meßwert für einen oder mehrere Gitterparameter zu erhalten. Stattdessen gewinnt man sehr schnell und einfach die für die Fertigung wichtige Aussage gut/schlecht oder zumindest eine Warnmeldung. Damit wird das Verfahren auch für Gitterstrukturen effizient anwendbar, die mehrere Periodizitäten in verschiedene Raumrichtungen besitzen (2D-Gitter) und durch Kantenrundungen, Rauigkeiten oder unbekannte Materialeigenschaften schwierig zu modellieren sind. Natürlich können aber auch wie bei ähnlichen Meßverfahren (oder z. B. bei der Ellipsometrie) durch Simulation und Regression der Modellparameter absolute Meßergebnisse mit dem vorgestellten Meßgerät ermittelt werden.

Eine unbeabsichtigte Verkipfung der Probe während der Messung stellt eine Änderung des Lichteinfallswinkels dar und führt u. U. zu deutlichen Abweichungen in den Intensitätskurven. In

den aus realen Versuchen stammenden Traingsdaten für ein klassifizierendes neuronales Netzwerk sind solche zufälligen Verkippungen ebenfalls enthalten, so daß das System solche Effekte automatisch berücksichtigt und der konstruktive Aufwand zur Vermeidung und Erkennung solcher Verkippungen relativ klein gehalten werden kann.

Darüber hinaus können die Intensitäten der Beugungsmaxima höherer Ordnung auch für eine korrekte Ausrichtung der Scheibe verwendet werden. Im allgemeinen Fall besitzen die Beugeordnungen rechts und links der direkten Reflexion unterschiedliche Intensität, falls der die Periodizität der Strukturen beschreibende Gittervektor nicht in der Einfallsebene des Lichtstrahls liegt bzw. die Probe verdreht ist. Man erhält somit ein sehr einfaches und empfindliches Mittel, um eine Verdrehung der Scheibe festzustellen, die sich auf die zu messenden Intensitätsverläufe auswirkt und somit das Meßergebnis für die Strukturgrößen verfälschen kann.

Im übrigen können auch ortsaufgelöste Meßsysteme, z.B. eine CCD-Kamera (evtl. mit einem dazwischen liegenden Schirm, dafür existiert allerdings bereits ein US-Patent) für die Intensitätserfassung eingesetzt werden.

Aufgrund seines einfachen Aufbaus mit feststehenden Komponenten und der Auswertung eines nur sehr kleinen Streulichtwinkels, eignet sich der vorgeschlagene Aufbau im Gegensatz zu den bisher vorgeschlagenen Linienbreiten-Meßanordnungen für die Integration als *in situ* bzw. in-line Gerät.

Literaturhinweise:

W.A. Bösenberg, H.P. Kleinknecht: „Linewidth Measurement on IC Masks and Wafers by Grating Test Patterns”, *Solid State Technology* Vol. 25 (1982) No. 10, 79 - 85

W.A. Bösenberg, H.P. Kleinknecht: „Linewidth Measurement on IC Wafers by Diffraction from Grating Test Patterns”, *Solid State Technology* Vol. 26 (1983) No. 7, 79 - 85

H.S. Damar, F.P. Chan, T.T. Wu, A.R. Neureuther: „Diffraction Characterization for Process Monitoring, Linewidth Measurement and Alignment”, *Proceedings of the SPIE* Vol. 470 (1984), 157 - 163

E. Polkowski: „Real-time Machine Vision for Semiconductor Manufacturing”, *Proceedings of the SPIE* Vol. 3028 (1997), 48 - 52

P. Chapados, A. Paranjpe: „In-situ Monitoring of Sub-Micron Polysilicon Linewidths Using Diffraction Gratings”, *Proceedings of the SPIE* Vol. 1803 (1992), 283 - 289

P. Chapados: „Diffraction Image Processing Algorithms for In-Situ Monitoring of Sub-Micron Polysilicon Linewidths”, *Proceedings of the SPIE* Vol. 1907 (1993), 250 - 257

A.P. Paranjpe, P. Chapados, J.W. Hosch: „United States Patent 5 422 723, 06. Juni 1995”

J. Sturtevant, S. Holmes, T. van Kessel, M. Miller, D. Mellichamp: „Use of scatterometric latent image detector in closed loop feedback control of linewidth”, *Proceedings of the SPIE* Vol. 2196 (1994), 352 - 359

J.C. Stover: „Scatterometry: Principles, Applications, Limitations and Future Prospects”, American Institute of Physics, 1996, 399 - 412

J.R. McNeil, S.S.H. Naqvi, S. M. Gaspar, K.C. Hickman, K.P. Bishop, L.M. Milner, R.H. Krukar, G.A. Peterson: „Scatterometry applied to microelectronics processing - Part 1”, *Solid State Technology* (1993) 3, 29 - 32

J.R. McNeil, S.S.H. Naqvi, S. M. Gaspar, K.C. Hickman, K.P. Bishop, L.M. Milner, R.H. Krukar, G.A. Peterson: „Scatterometry applied to microelectronics processing - Part 2”, *Solid State Technology* (1993) 4, 29 - 32

S.S.H. Naqvi, R.H. Krukar, J.R. McNeil, J.E. Franke, T.M. Niemczyk, D.M. Haaland, R.A. Gottscho, A. Kornblit: „Etch depth estimation of large-period silicon gratings with multivariate calibration of rigorously simulated diffraction profiles”, *J. Opt. Soc. Am. A*, Vol. 11, No. 9, 1994, 2485 - 2493

C.J. Raymond, M.R. Murnane, S.S.H. Naqvi, J.R. McNeil: „Metrology of subwavelength photoresist gratings using optical scatterometry”, *J. Vac. Sci. Technol. B* 13(4) 1995, 1484 - 1495

C.J. Raymond, M.R. Murane, S.L. Prins, S.S.H. Naqvi, J.R. McNeil: „Mulit-parameter process metrology using scatterometry”, *Proceedings of the SPIE* Vol. 2638 (1995), 84 - 93

M.R. Murane, C.J. Raymond, S.L. Prins, S.S.H. Naqvi, J.R. McNeil: „Scatterometry for 0,24 μm - 0,70 μm developed photoresist metrology”, *Proceedings of the SPIE* Vol. 2438 (1995), 427 - 436

B.K. Minhas, S.L. Prins, S.S.H. Naqvi, J.R. McNeil: „Towards sub-0,1 μm CD measurement using scatterometry”, *Proceedings of the SPIE* Vol. 2725 (1996)

C.J. Raymond, M.R. Murane, S.L. Prins, S.S.H. Naqvi, J.R. McNeil, J.W. Hosch: „Multiparameter grating metrology using optical scatterometry”, *J. Vac. Sci. Technol. B* 15(2), 1997, 361 - 368

C.J. Raymond, S.S.H. Naqvi, J.R. McNeil: „Resist and etched line profile characterization using scatterometry”, *Proceedings of the SPIE* Vol. 3050 (1997), 476 - 486

S. Zaidi, J.R. McNeil, S.S.H. Naqvi: „Scatterometric Process Monitor for Silylation”, *Proceedings of the SPIE* Vol. 3050 (1997), 182 - 193

S.A. Coulombe, B.K. Minhas, C.J. Raymond, S.S.H. Naqvi, J.R. McNeil: „Scatterometry measurement of sub-0.1 μm linewidth gratings”, *J. Vac. Sci. Technol. B* 15(2), 1997, 361 - 368

S. Bushman, S. Farrer: „Scatterometry measurements for process monitoring of polysilicon gate etch”, *Proceedings of the SPIE* Vol. 3213 (1997), 79 - 90

J. Bischoff, J.W. Baumgart, J.J. Bauer, H. Truckenbrodt: „Light scattering based micrometrology”, *Proceedings of the SPIE* Vol. 2775 (1996), 251 - 262

J. Bischoff, J.W. Baumgart, J.J. Bauer, H. Truckenbrodt: „Photoresist metrology based on light scattering”, *Proceedings of the SPIE* Vol. 2725 (1996), 678 - 689

J. Bischoff, J.J. Bauer, H. Truckenbrodt: „Diffraction analysis based characterization of very fine gratings”, *Proceedings of the SPIE* Vol. 3099 (1997), 212 - 222

J. Bischoff, K. Hehl: „Single feature metrology by means of light scatter analysis”, *Proceedings of the SPIE* Vol. 3050 (1997), 574 - 579

J. Bischoff, L. Hutschenreuther, H. Truckenbrodt: „New aspects of optical scatterometry applied to micrometrology”, *Proceedings of the SPIE* Vol. 3215 (1997), 144 - 155

M.E. Lee, C. Garlarza, W. Kong, W. Sun, F.L. Terry, Jr.: „Analysis of Reflectometry and Ellipsometry Data from Patterned Structures”, Preprint of the *Proceedings of the 1998 International Conference on Characterization and Metrology for ULSI Technology*, American Institute of Physics

A. Skumanich, „Wafer defect detection for CMP development”, *European Semiconductor*, März 1998, 33 - 38

M.G. Moharam, T.K. Gaylord: „Diffraction analysis od dielectric surface-relief gratings”, *J. Opt. Soc. Am.*, Vol. 72, No. 10, 1982, 1385 - 1392

M.G. Moharam, T.K. Gaylord: „Three-dimensional vector coupled-wave analysis of planar-grating diffraction”, *J. Opt. Soc. Am.*, Vol. 73, No. 9, 1983, 1105 - 1112

M.G. Moharam, T.K. Gaylord: „Rigorous coupled-wave analysis of metallic surface-relief gratings”, *J. Opt. Soc. Am. A*, Vol. 3, No. 11, 1986, 1780 - 1787

M.G. Moharam, E.B. Grann, D.A. Pommet: „Formulation for stable and efficient implementation of the rigorous coupled-wave analysis of binary gratings”, *J. Opt. Soc. Am. A*, Vol. 12, No. 5, 1995, 1068 - 1076

L. Li, C.W. Haggans: „Convergence of the coupled-wave method for metallic lamellar diffraction gratings”, *J. Opt. Soc. Am. A*, Vol. 10, No. 6, 1993, 1184 - 1189

R.H. Morf: „Exponentially convergent and numerically efficient solution of Maxwell's equations for lamellar gratings”, *J. Opt. Soc. Am. A*, Vol. 12, No. 5, 1995, 1043 - 1056

S. Peng, G.M. Morris: „Efficient implementation of rigorous coupled-wave analysis for surface-relief gratings”, *J. Opt. Soc. Am. A*, Vol. 12, No. 5, 1995, 1087 - 1096

Patente:

Mc Neil et al: „Lens scatterometer system employing source light beam scanning means”; United States Patent 5,703,692; 30.12.1997
(Anm: Verfahren zur Streulichtmessung bei variabalem Einfallswinkel und regulären Strukturen)

Mc Neil et al: „Two-dimensional optical scatterometer apparatus and process”; Patent 5,241,369; 31.08.1993
(Anm: Verwendung eines Schirms zur Erfassung von Beugebildern bei regulären Strukturen -> schwer zu umgehen bei Einsatz einer CCD-Kamera!)

Kleinknecht et al: „Optical line width measuring apparatus and method”; United States Patent 4,330,213; 18.05.1982
(Anm: Verwendung von Photodioden zur Intensitätsmessung von konischer Beugung)

Anthon: „Scattermeter using polarized light to distinguish between bulk and surface scatter”; United States Patent 4,668,860; 26.05.1987
(Anm: Verwendung variabel polarisierten Lichts bei der Streulichtmessung, aber nicht zur Bestimmung von Linienbreiten)